

8-15-2019

MODELING OF THE FLOW REGIMES OF WATER-COAL FUEL SLURRIES WITH COMPLEX RHEOLOGY IN CYLINDRICAL PIPES

Ja.D. Hodzhaev

Physical-technical institute NGO "Physics-sun", ASUz, Tashkent, Uzbekistan

Sh.A. Kasymov

Tashkent Institute of Railway Engineers, Tashkent, 100167, Uzbekistan

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/tashiit>



Part of the [Engineering Mechanics Commons](#)

Recommended Citation

Hodzhaev, Ja.D. and Kasymov, Sh.A. (2019) "MODELING OF THE FLOW REGIMES OF WATER-COAL FUEL SLURRIES WITH COMPLEX RHEOLOGY IN CYLINDRICAL PIPES," *Journal of TIRE*: Vol. 15 : Iss. 2 , Article 13.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/tashiit/vol15/iss2/13>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Journal of TIRE by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact brownman91@mail.ru.

УДК (UDC) 662.74

MODELING OF THE FLOW REGIMES OF WATER-COAL FUEL SLURRIES WITH COMPLEX RHEOLOGY IN CYLINDRICAL PIPES

Ходжаев Я.Д.¹, Касымов Ш.А.²
Hodzhaev Ja.D.¹, Kasymov Sh.A.²

¹ – Физико-технический институт НПО "Физика-солнце" АН РУз (Ташкент, Узбекистан)

² – Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта
(Ташкент, Узбекистан)

¹ – Physical-technical institute NGO "Physics-sun", ASUZ (Tashkent, Uzbekistan)

² – Tashkent Institute of Railway Engineers (Tashkent, Uzbekistan)

Abstract: The article deals the flow regimes with regard to the complex flow rheology of highly concentrated water-coal fuel slurries (WCS). It has been established that during the WCS flow through cylindrical pipes the flow mode is disturbed, which is due to the mutual influence of the geometric dimensions and flow parameters of the suspension when it is burned in the combustion chambers of power plants.

Key words: Water coal slurry (WCS), mixture viscosity, conservation laws, complex rheology, deformation inertness, flow regimes.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА ТЕЧЕНИЙ ТОПЛИВНЫХ ВОДОУГОЛЬНЫХ СУСПЕНЗИЙ СО СЛОЖНОЙ РЕОЛОГИЕЙ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТРУБАХ

Аннотация: В статье исследованы режимы течения с учетом сложной реологии высококонцентрированных водоугольных топливных суспензий (ВУС). Установлено, что при течении ВУС по цилиндрическим трубам, нарушается режим течения, что обусловлено взаимным влиянием геометрических размеров и параметров течения суспензии при организации ее сжигания в топочных камерах энергоустановок

Ключевые слова: Водоугольная суспензия (ВУС), вязкость смеси, законы сохранения, сложная реология, деформационная инертность, режимы течения.

Использование водоугольных суспензий (ВУС) в качестве топлива для энергоустановок, особенно в последние годы, привлекает к ним интерес многочисленных исследователей. Процессы обогащения угля (просеивание, промывка и т.д.) генерируют большое количество мелких и ультратонких частиц угля, обычно в форме водоугольных суспензий. Сжигание или совместное сжигание угольных шламов с другими видами топлива (уголь более высокого качества, биомасса) в котлах с циркулирующим псевдооживленным слоем является наилучшим вариантом их использования. Высокая эффективность сгорания может быть достигнута при условии, что процесс сгорания должным образом разработан, чтобы принять во внимание уникальные свойства топлива. Весьма часто, явления релаксации и ретардации, известные под общим названием как наследственность, проявляются одновременно даже у сред, которые при течении неотличимы от вполне вязких жидкостей, такие как ВУС, концентрированные смеси, растворы, масла, пасты, нефти, битумы и т.п., в которых эти свойства ярко выражены. Релаксационные и ретардационные переходы в смесях проявляются на разных уровнях их молекулярной и молярной организации. Для характеристики эксплуатационных свойств и их прогнозирования суспензий, растворов, смол, парафинистых нефтей и многих других многофазных сред, в частности, ВУС, содержащих различного размера и рода частицы угля,

наиболее важными являются медленные релаксационные и ретардационные процессы. Медленные релаксационные процессы, проявляющиеся, в частности, при течении ВУС по цилиндрическим трубам недостаточно исследованы [1, 2].

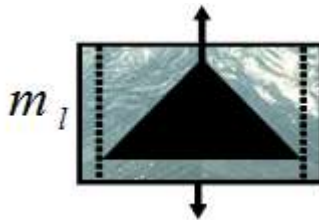


Рисунок 1. Элемент механической модели деформационной инертности

В исследованиях течений сред содержащих несколько фаз, находящихся в различных агрегатных состояниях, в последние годы исследователями развиваются представления о том что, в этих средах перенос физической субстанции осуществляется не только на молекулярном, но и на молярном уровне. В работах [1, 3] установлена новая закономерность, заключающаяся в пропорциональности тензора напряжения тензору ускоренной деформации и, тем самым установлено новое свойство сред – деформируемость сред ускоренно и по инерции. Механический элемент соответствующий этому закону состоит из массивного конуса вращения, находящегося в цилиндре с перфорированными стенками, который в свою очередь находится в цилиндрическом непроницаемом сосуде. При погружении или всплывании массивного конуса вращения происходит вытеснение жидкости из пор внутреннего цилиндра в пространство между цилиндрами, а оттуда через поры во внутренний цилиндр. В этом узком пространстве среда движется в сторону противоположную движению конуса и далее во внутренний цилиндр, компенсируя продвинутый объем конуса. В этом процессе среда течет, ускоренно деформируясь. Чем больше линейная плотность среды, тем больше сопротивление. Элемент механической модели деформационной инертности приведен на рис.1. Реологический закон при постоянстве объема среды будет, имеет вид [3]:

$$\tau = m_e \dot{\gamma}, \quad (1)$$

где τ - напряжение, $\dot{\gamma}$ - ускоренная деформация, m_e - коэффициент пропорциональности, имеющий размерность линейной плотности (кг/м).

На основе предложенной модели, параллельным и последовательным соединением с механическими моделями Гука и Ньютона получены множества релаксационных и ретардационных моделей для описания реологически сложных сред, наделенных упругими, вязкими и деформационно инертными свойствами. Установлены существования двух новых периодов релаксации и ретардации. Реологически сложные материалы обладают более чем одним периодом релаксации и ретардации. В данной работе предлагаются модели состояния двух и трехфазных сред, усовершенствуются уравнения сред посредством учета объемных содержаний реологических свойств фаз, с целью более адекватного описания процессов и установления закономерностей деформации и течения.

Представим среду, состоящую из частиц ньютоновской жидкости, обладающих вязкими свойствами, твердых частиц, обладающих упругими свойствами, а также связанных в комплексы большого количества того и другого сортов частиц, проявляющих свойства деформационной инертности. Эти свойства определяются динамической вязкостью жидкости - μ , коэффициентом линейной плотности молей - m_l , а также коэффициентом упругости - G твердых частиц [4].

Если предположить, что в выделенном объеме находятся два сорта частиц и они распределены случайным образом и каждый сорт частиц занимает определенную долю объема то эта часть объема будет обладать свойствами тех частиц, которые в нем находятся, скажем, свойством выражающимся истинной динамической вязкостью μ_i , а вторая часть истинным коэффициентом линейной плотности m_{li} . Если из выделенного объема изъять молярные

частицы, а жидкость распределить по всему объему, то она будет иметь свойство жидкости выражаемой приведенной динамической вязкостью μ_n и приведенной плотности m_n .

Отношения,

приведенных свойств к истинным свойствам, т.е. $f_1 = \frac{\mu_n}{\mu_i}$ и $\frac{m_n}{m_{ei}} = f_2$ есть ни что

иное, как объемная доля вязких и деформационно инертных свойств смеси соответственно. Это же рассуждение, распространив для упругого свойства твердых частиц, получим объемную долю упругих свойств в смеси в виде $\frac{G_n}{G_i} = f_3$. Если в выделенном объеме отсутствуют

частицы сред, имеющие деформационные свойства, кроме сред рассмотренных выше, то будем иметь соотношение

$$\frac{\mu_n}{\mu_i} + \frac{m_n}{m_{ei}} + \frac{G_n}{G_i} = 1, \quad \text{или} \quad f_1 + f_2 + f_3 = 1 \quad (2)$$

Так как $\mu_n = f_1 \mu_i$, $m_n = f_2 m_{ei}$ и $G_n = f_3 G_i$, то в смеси напряжения по закону Гука, Ньютона и деформационной инертности выразятся следующим образом.

$$\tau_{ij} = f_1 \mu_i \dot{\gamma}_{ij}, \quad \tau_{ij} = f_2 m_{ei} \ddot{\gamma}_{ij}, \quad \tau_{ij} = f_3 G_i \gamma_{ij}, \quad (3)$$

где: τ_{ij} - компоненты тензора напряжений; $\gamma_{ij}, \dot{\gamma}_{ij}$ и $\ddot{\gamma}_{ij}$ - компоненты тензоров деформации, скоростей и ускоренной деформации соответственно [5, 6].

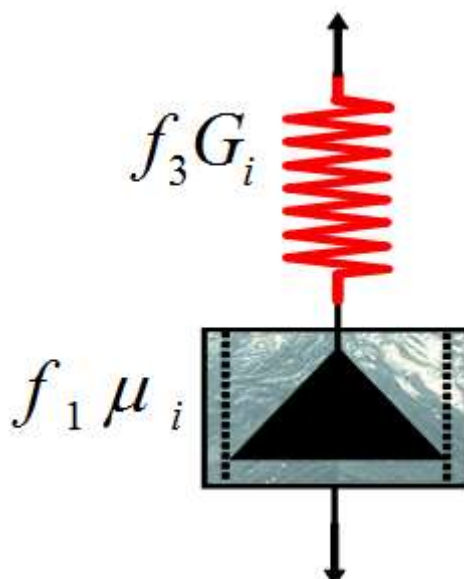


Рисунок 2. Механическая модель релаксационной упруго-инертно деформируемой среды

Параллельным и последовательным соединением механических моделей Гука, Ньютона и деформационной инертности получаем множества релаксационных и ретардационных механических моделей и соответствующие им реологические модели для описания реологически сложных сред, обладающих упругими, вязкими и деформационно-инертными свойствами. Некоторые из них приводятся ниже. На рис. 2 приведена механическая модель релаксационной упруго-инертно деформируемой среды. Соответствующая этой модели реологическая формула имеет вид:

$$\tau + t_{rel(kh_2)}^2 \ddot{\tau} = f_2 m_l \dot{\gamma}, \quad (4)$$

где $t_{rel(kh_2)} = \sqrt{\frac{f_2 m_{li}}{f_3 G_i}}$ - время релаксации.

Решение уравнения (4) описывает семейство кривых зависимости напряжений от времени при ускоренной деформации. На рис. 3 приведена механическая модель ретардационной упруго-инертно деформируемой среды. Соответствующая этой модели реологическая формула имеет вид

$$\tau = f_3 G_i (\gamma + t_{ret(kh_2)}^2 \dot{\gamma}) \quad (5)$$

где $t_{ret(kh_2)} = \sqrt{\frac{f_2 m_{li}}{f_3 G_i}}$ - время ретардации.

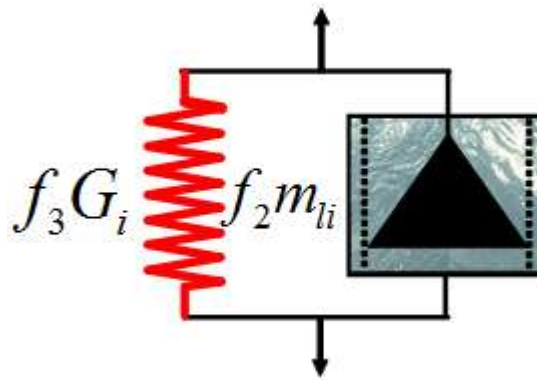


Рисунок 4. Механическая модель ретардационной вязко-инертно деформируемой среды

На рис. 4 приведена механическая модель ретардационной вязко-инертно деформируемой среды. Соответствующая этой модели реологическая формула имеет вид

$$\tau = f_1 \mu_i (\dot{\gamma} + t_{ret(kh_1)} \ddot{\gamma}), \quad \text{где} \quad t_{ret(kh_1)} = \frac{f_2 m_{li}}{f_1 \mu_i} \quad \text{- время вязкого последствия. (6)}$$

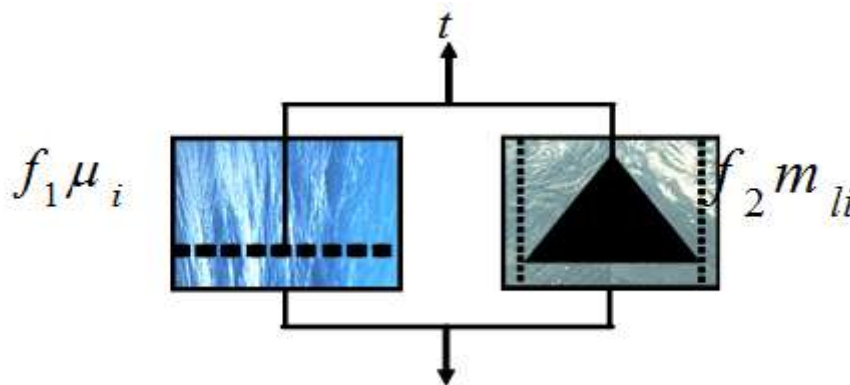


Рисунок 5. Механическая модель ретардационной упруго-вязко-инертно деформируемой среды

Решение уравнения (6) представляет семейство кривых зависимости скорости деформации от времени. Скорость деформации среды не развивается мгновенно, как в вязкой жидкости Ньютона, а задерживается вследствие вязкого преддействия при нагрузке. На рис.5 приведена механическая модель ретардационной упруго-вязко-инертно деформируемой

среды. Соответствующая этой модели реологическая формула имеет вид

$$\tau = f_3 G_i (\gamma + t_{ret(k)} \dot{\gamma} + t_{ret(kh_2)}^2 \ddot{\gamma}), \quad (7)$$

- времена ретардаций

$$t_{ret(k)} = \frac{f_1 \mu_i}{f_3 G_i}, \quad t_{ret(kh_2)} = \sqrt{\frac{f_2 m_{li}}{f_3 G_i}}$$

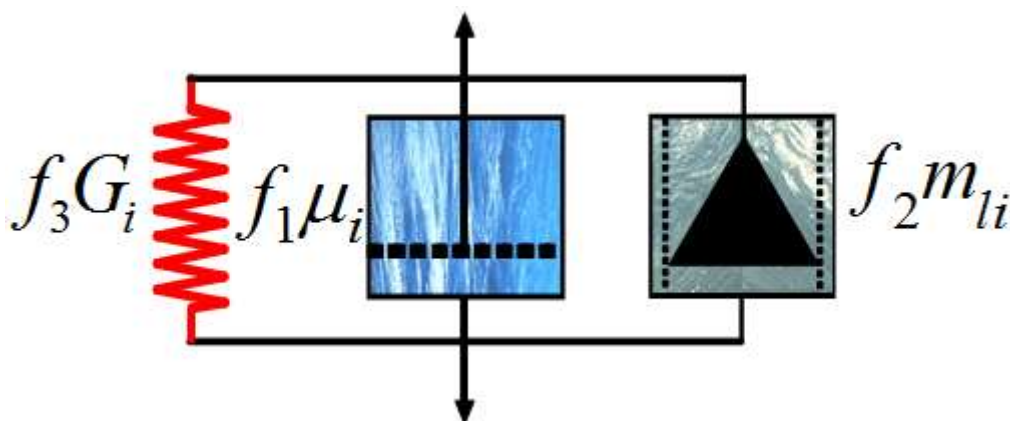


Рисунок 6. Релаксационные и ретардационные модели

Выше рассмотрены релаксационные и ретардационные модели, которые применимы для исследования сред, в которых проявляются релаксационные или ретардационные процессы. Существуют среды, в которых проявляются релаксационные и ретардационные процессы одновременно. Рассмотрим один из наиболее простых моделей такого рода (рис.6). Этой механической модели соответствует реологическая формула вида

$$\tau + t_{rel(M)} \dot{\tau} = f_1 \mu_i (\dot{\gamma} + t_{ret(Kh_1)} \ddot{\gamma} + t_{ret(Kh_2)}^2 \ddot{\gamma}), \quad (8)$$

где: $t_{rel(M)} = \frac{f_1 \mu_i}{f_3 G_i}$; $t_{ret(Kh_1)} = \frac{f_2 m_{li}}{f_1 \mu_i}$; $t_{ret(Kh_2)} = \sqrt{\frac{f_2 m_{li}}{f_3 G_i}}$.

Среды со сложной реологией в зависимости от численных значений безразмерных времён T , равного отношению времен релаксации t_{rel} к ретардации t_{ret} , могут быть

классифицированы следующим образом:

- 1) гомотермические среды - когда $T=1$ и при циклической нагрузке не происходит диссипации энергии, как и у тел Гука;
- 2) экзотермические среды - когда $T < 1$, в этом случае часть энергии рассеивается;
- 3) эндотермические среды - когда $T > 1$, в этом случае энергия поглощается деформируемой средой.

Рассматривая отношение

$$T = t_{rel(M)} / t_{ret(Kh_1)} = \frac{f_1 \mu_i / f_3 G_i}{f_2 m_{li} / f_1 \mu_i} = \frac{f_1^2 \mu_i^2}{f_3 G_i f_2 m_{li}}$$

приходим к выводу, что при известных реологических параметрах $f_1 \mu_i$, $f_2 m_{li}$ и $f_3 G_i$ можно предсказать направление изменения внутренней структуры при деформации и течении среды: если $f_1^2 \mu_i^2 = f_2 m_{li} \cdot f_3 G_i$ - среда гомотермическая, $f_1^2 \mu_i^2 < f_2 m_{li} \cdot f_3 G_i$ - среда экзотермическая, $f_1^2 \mu_i^2 > f_2 m_{li} \cdot f_3 G_i$ - среда эндотермическая.

Практический интерес представляет то, какие именно релаксационные механизмы ответственны за эти процессы, как они связаны со структурными параметрами среды и как прогнозировать свойства этих сред, проявляемых в технологических процессах и получение выражений, позволяющих определять геометрические размеры сопел, распыливающих

форсунок ВУС в энергетических системах. Полученные результаты дают возможность получать смеси с заданными свойствами и могут быть использованы при проведении физических и физико-химических исследований веществ, а также в решении разнообразных технологических задач в энергетической отрасли.

Литература

1. Bridgwater, A.V. Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. Chem. Eng. J. 2003, 91, 87–102. [CrossRef]
2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Дрофа, 2003, 840 с.
3. Я.Д.Ходжаев, И.Н.Хусанов, Ш.А.Касымов. Исследование течений ретардирующей вязко – инертно деформируемой среды. Научный журнал «Вестник ТашИИТ», №1, 2014г, стр.46-49.
4. Batchelor G.K. An Introduction to Fluid Dynamics (Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2000).
5. Mewis J., Wagner N.J. Colloidal Suspension Rheology (Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2012).
6. Laurier L.S. Emulsions, Foams, and Suspensions: Fundamentals and Applications. (2005) WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.

References

1. Bridgwater, A.V. Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. Chem. Eng. J. 2003, 91, 87–102. [CrossRef]
2. Lojcsanskij L.G. Mehanika zhidkosti i gaza. M.: Drofa, 2003, 840 s.
3. Ja.D.Hodzhaev, I.N.Husanov, Sh.A.Kasymov. Issledovanie techenij retardirujushhej vjazko – inertno deformiruemoy sredy. Nauchnyj zhurnal «Vestnik TashIIT», №1, 2014g, str.46-49.
4. Batchelor G.K. An Introduction to Fluid Dynamics (Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2000).
5. Mewis J., Wagner N.J. Colloidal Suspension Rheology (Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2012).
6. Laurier L.S. Emulsions, Foams, and Suspensions: Fundamentals and Applications. (2005) WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.